



TITLE:

環境負荷低減に向けた下水処理プロセスおよび制御技術に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

西田, 佳記

CITATION:

西田, 佳記. 環境負荷低減に向けた下水処理プロセスおよび制御技術に関する研究. 京都大学, 2020, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2020-05-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22654>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	西田 佳記
論文題目	環境負荷低減に向けた下水処理プロセスおよび制御技術に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>下水道では水域への放流汚濁負荷やエネルギー消費に伴う温室効果ガス排出といった環境負荷の低減が求められている．本論文では，下水処理に係る環境負荷の低減を目的に，ハード面での対応として省エネルギー高度処理プロセス，ソフト面での対応として省エネルギー運転制御技術，および雨天時放流汚濁負荷低減に向けたモデルベース運転制御技術を開発した．本論文は以下の 6 章から成る．</p> <p>第 1 章</p> <p>本論文の研究背景として，下水道，特に下水処理に係る環境負荷低減に向けた取り組みを述べたのち，本論文の目的および構成をまとめた．</p> <p>第 2 章</p> <p>環境負荷低減の実現手段として，想定した下水処理プロセスや制御システムの改良に関する既往の研究状況，および解決すべき技術課題を述べたのち，本研究で対象とした環境負荷低減技術の全体像を示した．</p> <p>第 3 章</p> <p>省エネルギー高度処理プロセスとして，窒素除去とリン摂取を同時に行う脱窒性リン蓄積細菌 (DPAOs) を活用した省エネルギー高度処理プロセス（A2N 法）に着目した．A2N 法では，DPAOs の機能を活用し，硝化液の循環を不要とするなどにより，消費電力低減が期待できる．この A2N 法の窒素・リン除去プロセスにおいて，DPAOs の集積と窒素・リン除去性能の確保を両立するプロセス条件を探索するため，連続処理実験を実施し，窒素除去率や反応速度から処理性能を評価した．その結果，活性汚泥の沈降性やリン除去性能を維持するためには，従来避けるべきとされていた好気処理を実施する必要があることが分かった．また，嫌気→無酸素→好気プロセスにおいて，90 日間の運転で DPAOs の集積度を 21%から 81%まで高めることができ，また窒素・リン除去率も 80%以上の高い処理性能を得ることができた．また，窒素・リン除去プロセスとして嫌気→無酸素→好気プロセスを採用した A2N 法でのケーススタディを実施したところ，従来から使われている A2O 法と比べてポンプおよびブロワの消費電力の合計値として 26%低減できる試算結果を得た．</p> <p>第 4 章</p> <p>省エネルギー運転制御技術では，処理水質の安定化，風量削減に伴う消費電力低減，維持管理業務の軽減を目的として，①2 台の NH4-N センサを用いた風量制御機能，②微生物の処理特性見える化機能，③風量演算モデルの自動更新機能による，処理水 NH4-N 濃度の安定化，消費電力低減，維持管理業務の軽減を実現する硝化制御技術を開発し，従来からの曝気風量制御技術（DO 一定制御）と比べて硝化の進行を適正化でき，処理水 NH4-N 目標値（1.0 mg/L）を満足しつつ，曝気風量を 10%以上削減の目標を目指して，下水処理場で実証実験を行った．その結果，処理水の平均 NH4-N 濃度を 0.33 mg /L と</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	西田 佳記
<p>しつつ、曝気風量は 16.9%削減できたことから、成果目標を達成した。また、開発した硝化制御技術の要素機能である、フィードフォワード制御とフィードバック制御に基づく風量演算機能、処理特性の見える化機能、風量演算モデルの自動更新機能が成立し、有効であることを確認できた。開発した硝化制御技術の導入効果については、循環式硝化脱窒法、処理規模 50,000 m³/d、制御方法が DO 一定制御の下水処理場を想定した場合、消費電力を 12.9%、CO₂ 排出量を約 930 kg/d 削減できる試算結果が得られた。</p> <p>第 5 章</p> <p>雨天時におけるモデルベース運転制御技術では、下水処理場からの簡易処理放流に伴う放流汚濁負荷低減を目的に、最終沈殿池からの汚泥流出リスクの評価技術、および汚泥流出リスクを抑制しつつ、二次処理水量を最大化する流量制御ロジックを構築し、下水処理場での雨天時調査結果に基づき、開発した運転制御技術が成立するかを検証した。その結果、最終沈殿池における汚泥沈降状況を再現する汚泥沈降モデルにより、最終沈殿池越流水の汚泥流出濃度の上昇を検知できる見通しが得られた。また、活性汚泥の一部流出があった雨天時処理のケースに対し、開発した流量制御ロジックを適用したところ、汚泥流出リスク指標（汚泥沈降モデルによる界面高さ計算値）を設定値以下に維持でき、濁質成分の放流負荷を 73%低減できる試算結果を得た。また、開発した流量制御ロジックに加えて、返送流量や MLSS 濃度の運転条件を変更することで、簡易処理水量を低減できることで、NH₄-N 放流負荷を 22%低減できる試算結果を得た。</p> <p>第 6 章</p> <p>論文の結論である。本論文で得られた成果をまとめ、今後の成果の活用、課題について述べた。</p> <p>以上、本論文では、下水道での処理プロセス、制御技術、雨天時対応の 3つのアプローチから、放流汚濁負荷や消費エネルギーを削減する技術を開発し、その成立性および適用効果を検証した。これらの技術は、単独または組み合わせにより、下水処理における環境負荷低減、また効率的な運転管理の実現に貢献するものである。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、下水処理に係る環境負荷の低減を目的に、ハード面での対応として省エネルギー高度処理プロセス、ソフト面での対応としての省エネルギー運転制御技術、雨天時放流汚濁負荷低減のためのモデルベース運転制御技術の開発を行ったものである。

1. 窒素除去とリン摂取を同時に行う脱窒性リン蓄積細菌(DPAOs)を活用した省エネルギー高度処理プロセス(A2N法)に着目し、DPAOsの集積と窒素・リン除去性能の確保を両立するプロセス条件を探索するため、連続処理実験を実施した。その結果、活性汚泥の沈降性やリン除去性能を維持するために、好気処理が必要であると判明した。この方法で、DPAOsの集積度は81%まで高められ、窒素・リン除去率も80%以上となった。またA2N法は、従来の嫌気無酸素好気(A2O)法と比べて消費電力を26%低減できる試算結果を得た。

2. 硝化制御技術を開発し、下水処理場で実証した。硝化制御技術の適用により、従来の風量制御技術(DO一定制御)と比べて硝化の進行を適正化でき、平均処理水NH₄-N濃度0.33 mg/Lを満足しつつ、曝気風量削減率16.9%の成果を得た。また、開発した硝化制御技術の要素機能である、風量演算機能、処理特性の見える化機能、風量演算モデルの自動更新機能の成立性および有効性を確認した。処理規模：50,000 m³/dの循環式硝化脱窒法においてDO一定制御と比較した結果、消費電力を12.9%、CO₂排出量を約930 kg/dを削減できることが分かった。

3. 下水処理場からの簡易処理放流に伴う放流汚濁負荷低減を目的に、最終沈殿池からの汚泥流出リスクの評価技術、および汚泥流出リスクを抑制しつつ、二次処理水量を最大化する流量制御ロジックを構築し、下水処理場での雨天時調査結果に基づき成立性を検証した。その結果、最終沈殿池の汚泥沈降モデルにより、汚泥流出濃度の上昇が検知可能で、開発流量制御ロジックを適用した場合、汚泥流出リスク指標を設定値以下に維持でき、濁質成分の放流負荷を73%低減できるとともに、返送流量やMLSS濃度の運転条件を変更することで、簡易処理水量も低減でき、NH₄-N放流負荷を22%低減できる試算結果を得た。

以上、本研究は、下水道の処理プロセス、制御技術、雨天時対応の3つのアプローチから、放流汚濁負荷や消費エネルギーを削減する技術を開発し、その成立性および適用効果を検証したものであり、下水処理における環境負荷低減、効率的な運転管理の実現に貢献するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。また、令和2年3月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。